

## **Cobertura de un sistema de comunicaciones móvil e inalámbrico con control ideal de potencia y movilidad en los usuarios**

*Mobile and wireless system coverage with ideal power control and user mobility*

Julio Elmer Londoño García<sup>1</sup>

Ricardo Velasco Arcos<sup>1</sup>

Víctor Fabián Miramán Pérez<sup>2\*</sup>

Claudia Milena Hernández<sup>2</sup>

Recibido 15 de febrero de 2017, aceptado 8 de diciembre de 2017

*Received: February 15, 2017 Accepted: December 8, 2017*

### **RESUMEN**

Las comunicaciones móviles en la actualidad juegan un papel importante en la vida cotidiana de gran parte de la humanidad, y dada su creciente popularidad, es necesario que los operadores de telefonía móvil amplíen continuamente la cobertura de sus redes. Este artículo presenta un análisis de la cobertura de un sistema de comunicaciones inalámbricas, que implementa Control Ideal de Potencia, dado que la potencia es una de las limitantes en el modo de operación y acceso a servicios por parte de los usuarios. De igual manera para aproximar la simulación a un entorno real, se implementa movilidad en el usuario, definiendo unas reglas de movilidad que permitan incluir en el trabajo la dinámica propia de este tipo de redes. La implementación del Control Ideal de Potencia evidenció que la cobertura de un sistema de comunicaciones móviles e inalámbricas se ve favorecida por esta clase de procedimientos dado que se reduce la interferencia presente en el sistema, de igual manera la inclusión de la movilidad en los usuarios permitió obtener resultados de los valores de potencia más aproximados a los empleados en la realidad por este tipo de sistemas.

Palabras clave: Control ideal de potencia, movilidad, comunicaciones móviles e inalámbricas.

### **ABSTRACT**

*Mobile communications have played an important role in everyday life, and given their growing popularity; mobile phone operators have been required to expand coverage of their networks continually. This article presents a coverage analysis of a wireless communications system, which implements Ideal Power Control, since power is one of the limitations in the operation mode and access to services by users. Similarly to approximate the simulation to a real environment, it is implemented mobility in the user, defining mobility rules that allow to include the own dynamics of this type of networks. The implementation of the Ideal Power Control showed that the coverage of mobile and wireless communications system improves with this type of procedure because it reduces the present interference in the system. The inclusion of the mobility of the users allowed to obtain results of The power values closest to those used by this type of system:*

*Keywords: Ideal power control, mobility, wireless and mobile communications.*

---

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones - Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones. Universidad del Cauca. Popayán -Cauca, Colombia. e-mail: juliolg@unicauca.edu.co; rvelasco@unicauca.edu.co

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones - Departamento de Telecomunicaciones - Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones. Universidad del Cauca. Popayán -Cauca, Colombia. e-mail:vmirama@unicauca.edu.co; claudiah@unicauca.edu.co

\* Autor de correspondencia

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicaciones móviles e inalámbricos actuales buscan responder a las exigencias de los usuarios y proporcionar mejores características tales como: Calidad de Servicio (QoS, *Quality of Service*), cobertura y altas velocidades de transmisión de datos. Sin embargo, cumplir con esto es una tarea difícil, ya que los sistemas móviles e inalámbricos están limitados por la cantidad de recursos radio disponibles. Por ello, la Gestión de Recursos Radio (RRM, *Radio Resource Management*) define una serie de procedimientos para administrar de manera eficiente estos recursos, buscando garantizar que los diferentes servicios se presten con la Calidad de Servicio (QoS) requerida, además de mantener el área de cobertura planeada y maximizar la capacidad del sistema [1-3].

El Control de Potencia (PC, *Power Control*) es uno de los procedimientos más importantes y fundamentales de la Gestión de Recursos Radio (RRM) [4-5], este se emplea para mantener los niveles de interferencia de la interfaz radio en el mínimo posible, garantizando que el nivel de potencia con el que transmite un usuario determinado es el adecuado para no generar niveles considerables de interferencia en los enlaces de los usuarios restantes dentro de la red, y proporcionar la Calidad de Servicio (QoS) requerida por todos y cada uno de ellos, lo cual conlleva a un aumento en la cobertura y la capacidad del sistema [6-7]. Además, el Control de Potencia (PC) permite minimizar el consumo de energía y por ende aumentar el tiempo de vida de las baterías de los dispositivos.

Una de las principales ventajas de los sistemas móviles e inalámbricos es la movilidad, sin embargo esta tiene un efecto considerable sobre la Calidad de Servicio (QoS) [8] debido a los fenómenos físicos presentes en el canal radio, los cuales generan desvanecimiento rápido y lento, afectando el nivel de potencia de la señal recibida, causando que algunas veces esta se encuentre por debajo del nivel de señal objetivo para mantener la comunicación con la Calidad de Servicio (QoS) requerida.

A nivel investigativo, la representación de la movilidad del usuario se ha intentado representar mediante diferentes aproximaciones como en [9]

y [10], desde hace ya varios años, sin embargo las aproximaciones utilizadas no describen el proceso de desplazamiento de los usuarios, sino los efectos derivados de la movilidad de los mismos. Trabajos como [11-12], se enfocan en definir procesos de movilidad que representen el movimiento de diferentes tipos de usuario obteniendo aproximaciones adecuadas pero complejidad en el proceso de estimación.

En trabajos más recientes, se analiza la importancia de la predicción de la movilidad de usuarios, es así como [13-17], definen modelos de movilidad que permitan el análisis de la probabilidad de conexión, pero la definición de cada modelo está enmarcada dentro de una arquitectura de red o tecnología específica. Pese a que se estima la movilidad de usuario no se realiza un análisis del comportamiento general del sistema, es decir no se analiza ni la capacidad ni la cobertura.

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente artículo analiza la cobertura de un sistema de comunicaciones móvil e Inalámbrico empleando Control Ideal de Potencia (IPC, *Ideal Power Control*) y movilidad en los usuarios, pero con un modelo de movilidad que no dependa de alguna tecnología en específico. Para evaluar los resultados obtenidos del modelo del sistema implementado, se realizan dos comparaciones. La primera se realiza frente a un sistema de comunicaciones inalámbrico en el cual no se tiene en cuenta la movilidad de los usuarios pero si el Control Ideal de Potencia (IPC) y la segunda, se hace en relación a un sistema de comunicaciones inalámbrico en el que se implementa la movilidad de los usuarios pero no el Control Ideal de Potencia (IPC).

Este artículo describe inicialmente el escenario de simulación utilizado para el análisis de cobertura, posteriormente se presentan los modelos de Control Ideal de Potencia (IPC) y movilidad de los usuarios, para proceder con la descripción de los resultados y el análisis que conlleva a las conclusiones del trabajo.

## ESCENARIO DE SIMULACIÓN

### Características Generales

Para la representación del sistema se definió un escenario cuadrangular de dimensiones 3 Km x 3

Km con una celda de radio igual a 0.8 Km, en el cual se distribuyen de manera aleatoria 100 usuarios siguiendo una distribución uniforme y se incluye en el centro del escenario la Estación Base (BS, *Base Station*) de la celda de análisis. En la Figura 1 se observa el escenario de simulación, en donde la Estación Base (BS) aparece representada por un rombo de color negro y los usuarios o Estaciones Móviles (MS, *Mobile Station*) son representados por círculos de diferentes tonalidades. Los círculos sin relleno representan a los usuarios que se encuentran asociados a otra Estación Base (BS), los que tienen relleno negro están asociados a la Estación Base (BS) de análisis y se encuentran conectados a esta, es decir, se mantiene la Calidad de Servicio (QoS) asociándola a un nivel de Relación Señal a Interferencia más Ruido (SINR, *Signal to Interference plus Noise Ratio*) objetivo y los de color gris están asociados a la Estación Base (BS) de análisis pero se encuentran sin servicio (no cumplen con la SINR objetivo).

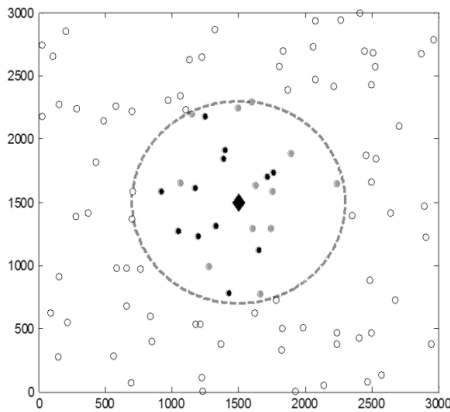


Figura 1. Escenario de Simulación.

El número de usuarios que se ubican al interior del escenario están representados mediante el conjunto  $\mathbf{M} = \{1, \dots, M\}$  de Estaciones Móviles (MS), de las cuales un número determinado quedan asociadas a la Estación Base (BS) de la microcelda, y estas se representan por medio del conjunto  $\mathbf{N} = \{1, \dots, N\} \in \mathbf{M}$ .

### Modelo de Propagación

Para calcular las pérdidas de trayecto en el canal de comunicaciones, se utilizó el modelo de propagación denominado Ambiente Mixto

Peatonal (*Outdoor to Indoor and Pedestrian Environment*) definido por el Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo (ETSI, *European Telecommunications Standards Institute*) [18]. El modelo asume un desvanecimiento por sombra Log-normal con una desviación estándar igual a 10 y 12 dB para exteriores e interiores respectivamente. Las pérdidas por penetración en edificios se definen iguales a 12 dB con una desviación estándar igual a 8 dB [18-19]. La ecuación (1) describe la fórmula general de las pérdidas de propagación para el modelo seleccionado.

$$L[dB] = 49 + 40 \log(d [Km]) + 30 \log(f [MHz]) \quad (1)$$

Dónde  $d$  es la distancia que existe entre una Estación Móvil (MS) y la Estación Base (BS) de análisis dada en kilómetros y  $f$  es la frecuencia de la portadora dada en Megahertz.

## MODELOS DE CONTROL IDEAL DE POTENCIA Y MOVILIDAD DE LOS USUARIOS

### Control Ideal de Potencia

El Control Ideal de Potencia (IPC) busca establecer el nivel adecuado de potencia con la cual deben transmitir cada una de las Estaciones Móviles, con el fin de igualar la potencia de recepción que capta la Estación Base (BS) de cada una de ellas, dependiendo del servicio que se le esté proporcionando a cada usuario; procurando mitigar problemas de interferencia [19-22]. Para implementar el Control Ideal de Potencia (IPC), se debe identificar el servicio al cual están accediendo los usuarios y la Calidad o la Relación Señal a Interferencia más Ruido (SINR) requerida por este servicio.

En la ecuación (2) se define la fórmula general de Relación Señal a Interferencia más Ruido (SINR) para todos y cada uno de los usuarios al interior de la celda de análisis.

$$\text{sinr}_i = \frac{\alpha_i p_i}{\eta + \sum_{j=1, j \neq i}^N \alpha_j p_j} \quad i, j \in N \quad (2)$$

$\alpha_i$  hace referencia a la ganancia del sistema<sup>3</sup> que experimenta la comunicación del usuario  $i$ ,  $p_i$  es la potencia de transmisión de la  $i$ -ésima

<sup>3</sup> En esta ganancia del sistema se tienen en cuenta las pérdidas y ganancias que experimenta la señal durante el trayecto que une el transmisor con el receptor.

Estación Móvil (MS),  $\eta$  es la potencia de ruido térmico presente en el sistema y  $N$  es el número de usuarios que se encuentran al interior de la celda de análisis [19-21].

A partir de la ecuación (2) se despeja  $\eta$  [19], [21].

$$\eta = \frac{\alpha_i p_i}{\text{sinr}_i} - \sum_{j=1, j \neq i}^N \alpha_j p_j \tag{3}$$

Este procedimiento se realiza para cada uno de los usuarios, generando un sistema de ecuaciones matricial, sintetizado en la ecuación (4).

$$AP = \eta \tag{4}$$

De esta manera el sistema queda expresado por un sistema de ecuaciones lineales en el cual se define  $\eta = \{\eta_1, \dots, \dots, \eta_N\}$  como un vector de ruido térmico de dimensión  $N \times 1$ ,  $\alpha = \{\alpha_1, \dots, \dots, \alpha_N\}$  como un vector de dimensión  $1 \times N$ ,  $\text{SINR} = \{\text{sinr}_1, \dots, \dots, \text{sinr}_N\}$  como un vector de orden  $N \times 1$  que contiene la Relación Señal a Interferencia más Ruido (SINR) requerida en la comunicación de cada usuario,  $P = \{p_1, \dots, \dots, p_N\}$  como el vector de incógnitas que contiene las potencias de transmisión necesarias para satisfacer las SINR requeridas y A es una matriz no singular ( $\det(A) \neq 0$ ) de dimensión  $N \times N$ , definida por la ecuación (5) [19-21].

$$A = \left\{ \begin{array}{cc} -\alpha_i & i \neq j \\ \alpha_i & i = j \end{array} \right\} \quad \forall i, j \in N \tag{5}$$

Puesto que A es una matriz no singular, se define la matriz B, tal que  $B = A^{-1}$ , luego, las potencias de transmisión se obtienen a partir de la ecuación (6) [10].

$$P = B\eta \tag{6}$$

Hasta este momento se ha considerado en el análisis únicamente la Interferencia Intra-Celda (InCI, *Intra-Cell Interference*), debido a que se tiene en cuenta solo a los usuarios que se

encuentran al interior de la celda y no aquellos que se encuentran conectados a otras celdas. Por lo tanto, es necesario modificar el análisis para incluir la Interferencia Inter-Celda (ICI, *Inter-Cell Interference*) generada por estos usuarios y obtener así una aproximación más real. Para ello se incluyó en la ecuación (2) un factor que representa la Interferencia Inter-Celda (ICI) obteniendo la ecuación (7) [21].

$$\text{sinr}_i = \frac{\alpha_i p_i}{\eta + i_0 + \sum_{j=1, j \neq i}^N \alpha_j p_j} \quad i, j \in N \tag{7}$$

Donde  $i_0$  es un escalar que representa la Interferencia Inter-Celda (ICI) presente en la Estación Base (BS) de análisis. En la ecuación (8) se define este parámetro.

$$i_0 = \sum_{m=N+1}^M \alpha_m p_m \tag{8}$$

Luego el sistema de ecuaciones lineales queda representado por la ecuación (9).

$$AP = \eta + i_0 \tag{9}$$

Por lo tanto, las potencias de transmisión se obtienen como se muestra en la ecuación (10).

$$P = B(\eta + i_0) \tag{10}$$

### Movilidad de Usuario

Para el desarrollo del modelo de movilidad se tiene en cuenta el modelo de propagación seleccionado, en el cual se estipula que cada usuario se mueve a una velocidad de 3 Km/h, lo que equivale a 0.833 m/s [18]. A partir de este dato, se definió que el valor del desplazamiento del usuario sería de 0.833 metros en cada iteración, valor del cual se derivan los desplazamientos en X y en Y para cada usuario, denominados  $dx$  y  $dy$  respectivamente.

En el modelo de movilidad propuesto, en primer lugar se genera la posición inicial<sup>4</sup> de todos los usuarios, luego a cada uno de los usuarios

<sup>4</sup> Los usuarios se ubican aleatoriamente al interior del escenario mediante una distribución uniforme.

se le asigna un ángulo  $\theta$  el cual se encuentra uniformemente distribuido entre 0 y  $2\pi$ , obteniendo así la dirección en la cual se desplaza el usuario. Una vez elegida la dirección del movimiento, se calculan los desplazamientos en X y en Y para cada uno de los usuarios de acuerdo a las ecuaciones (11 y 12):

$$dx_i = 0.883 \cos \theta_i \quad (11)$$

$$dy_i = 0.883 \sin \theta_i \quad (12)$$

Posteriormente, se suma a las componentes en X y en Y de la posición inicial los respectivos desplazamientos en X y en Y para obtener la nueva posición del usuario. A partir de este instante y hasta que la simulación finalice, el proceso para obtener una nueva posición se repite.

Debido a que en este estudio no se tuvo en cuenta procedimientos como *HandOver* (HO), en el modelo de movilidad se limitó el movimiento de los usuarios únicamente al interior de la celda de análisis. Para ello, se dividió el escenario en 4 cuadrantes y se tomó como origen de coordenadas el punto P(1500,1500). Luego, para los usuarios que debido a su movimiento quedan por fuera de la celda, se realiza un reajuste en su posición ubicándolos justamente sobre el límite de la celda. La reubicación se realiza teniendo en cuenta en que cuadrante se encuentra ubicado el usuario. Para cada uno de los 4 cuadrantes se tiene:

*Primer Cuadrante* ( $1500 < X < 3000$  &  $1500 < Y < 3000$ )

- Con las componentes en X y en Y de la posición del usuario se calcula el ángulo  $\theta$ , de acuerdo a la ecuación (13).

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{y-1500}{x-1500} \right) \quad (13)$$

- Con el ángulo  $\theta$  se calculan las componentes de la nueva posición, empleando las ecuaciones (14 y 15).

$$X_n = 1500 + R \cos \theta \quad (14)$$

$$Y_n = 1500 + R \sin \theta \quad (15)$$

*Segundo Cuadrante* ( $600 < X < 1500$  &  $1500 < Y < 3000$ )

- Para el segundo cuadrante se utilizan las ecuaciones (16 a 18).

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{y-1500}{1500-x} \right) \quad (16)$$

$$X_n = 1500 - R \cos \theta \quad (17)$$

$$Y_n = 1500 + R \sin \theta \quad (18)$$

*Tercer Cuadrante* ( $600 < X < 1500$  &  $600 < Y < 1500$ )

- Las ecuaciones (19 a 21), permiten la estimación de la posición en el tercer cuadrante.

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{1500-y}{1500-x} \right) \quad (19)$$

$$X_n = 1500 - R \cos \theta \quad (20)$$

$$Y_n = 1500 - R \sin \theta \quad (21)$$

*Cuarto Cuadrante* ( $1500 < X < 3000$  &  $600 < Y < 1500$ )

- En el cuarto cuadrante se emplean las ecuaciones (22 a 24).

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{1500-y}{x-1500} \right) \quad (22)$$

$$X_n = 1500 + R \cos \theta \quad (23)$$

$$Y_n = 1500 - R \sin \theta \quad (24)$$

Una vez el usuario ha sido ubicado en el límite de la celda, es decir, su distancia a la estación base es de 0.8 Km, este elige nuevamente una dirección en la cual el movimiento se realice hacia el interior de la celda, como se muestra en la Figura 2.

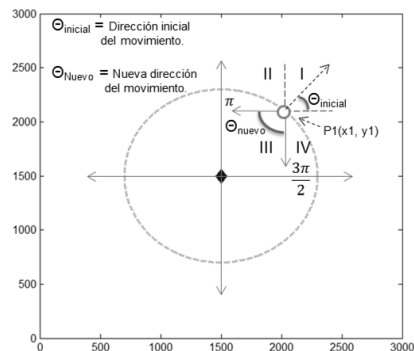


Figura 2. Ajuste de la dirección del movimiento del usuario según el modelo de movilidad.

La elección de la nueva dirección del movimiento se realiza teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Si el usuario se encuentra en el primer cuadrante  $\theta$  tiene una distribución uniforme en  $\left[\pi - \frac{3\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}\right]$ .
- Si el usuario se encuentra en el segundo cuadrante  $\theta$  tiene una distribución uniforme en  $\left[\frac{3\pi}{2} - 2\pi, \frac{3\pi}{2}\right]$ .
- Si el usuario se encuentra en el tercer cuadrante  $\theta$  tiene una distribución uniforme en  $\left[0 - \frac{\pi}{2}, 0\right]$ .
- Si el usuario se encuentra en el cuarto cuadrante  $\theta$  tiene una distribución uniforme en  $\left[\frac{\pi}{2} - \pi, \frac{\pi}{2}\right]$ .

De este modo, se garantiza que el movimiento de los usuarios se realice únicamente al interior de la celda.

### IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS

Para la implementación de los modelos se definieron tres casos de simulación, los cuales se describen en la Tabla 1, para los tres casos se ofrece el servicio de voz que requiere una Relación Señal a Interferencia más Ruido (SINR) de -20 dB [20-21]. En cada caso se realiza una serie de repeticiones siguiendo el método Montecarlo<sup>5</sup>, con el propósito de obtener resultados estadísticamente válidos.

Tabla 1. Casos de Simulación.

Casos de Simulación	IPC	Movilidad	SINR Objetivo	N° de Usuarios
Caso 1	Si	No	-20 dB	100
Caso 2	Si	Si	-20 dB	100
Caso 3	No	Si	-20 dB	100

#### A. Caso 1

En este primer caso de simulación se implementa únicamente el Control Ideal de Potencia (IPC) mientras que la movilidad de los usuarios no se tiene en cuenta.

La Figura 3 muestra el resultado de las potencias de transmisión de los usuarios que si cumplen con la SINR objetivo, y que se encuentran conectados a la Estación Base (BS). De la Figura 3 se puede ver que la máxima potencia de transmisión utilizada por los usuarios es de 24 dBm, sin embargo, la Figura

3 muestra que la máxima potencia de transmisión del 61,4% de los usuarios es de 12 dBm.

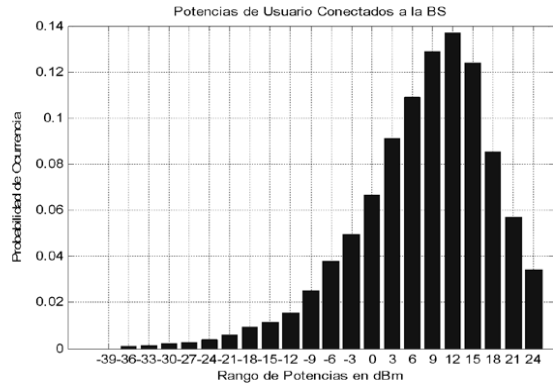


Figura 3. Potencias de transmisión de usuarios conectados a la BS.

Los resultados de máxima cobertura en la celda de análisis se exponen en la Figura 4. En esta Figura se observa que la probabilidad de que el valor de cobertura se encuentre por encima de 700 metros es de 0.9 (sumando los valores que muestra el histograma), es decir que para valores inferiores a 700 metros se obtiene una probabilidad de 0.1. En la Figura 5 se aprecian los resultados de máxima cobertura del sistema teniendo en cuenta el 5% de probabilidad de degradación<sup>6</sup>. De la Figura 5 se concluye que la probabilidad de que la cobertura sea superior a 280 metros es de 0.155, notándose que al tener en cuenta el 5% de probabilidad de degradación del sistema, los valores de cobertura disminuyen, concentrando el 0.845 de probabilidad de ocurrencia en valores inferiores a 280 metros.

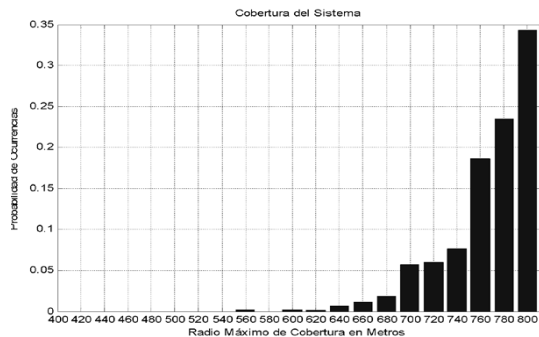


Figura 4. Cobertura del sistema en el enlace de subida.

<sup>5</sup> El método Montecarlo es una técnica de muestreo artificial que se emplea como herramienta de investigación y planeación, la cual se basa en la repetición de fenómenos aleatorios para hallar la probabilidad de un suceso [13].

<sup>6</sup> La probabilidad de degradación se determina teniendo en cuenta la cantidad de usuarios atendidos con relación al total de usuarios que se encuentran asociados a la celda de análisis. Para el análisis de cobertura se considera el alcance máximo hasta superar el 5% de usuarios no atendidos del total de usuarios al interior de la celda.

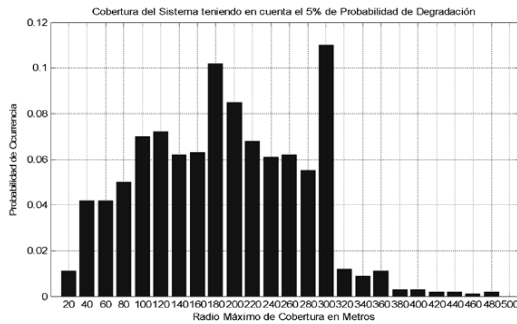


Figura 5. Cobertura del sistema en el enlace de subida sin superar el 5% de probabilidad de degradación.

En la Figura 6 se observan los resultados de la probabilidad de degradación del sistema, lo cual muestra que existe una alta ocurrencia de valores altos de probabilidad de degradación.

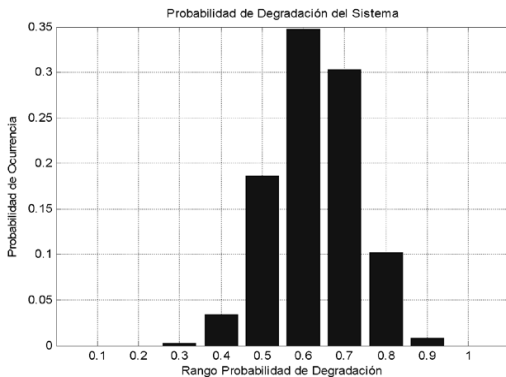


Figura 6. Probabilidad de degradación del sistema.

Los valores de Relación Señal a Interferencia más Ruido (SINR) de los usuarios al interior de la celda, se muestran en la Figura 7, la probabilidad de que los usuarios logren satisfacer su requerimiento de SINR es de 0.43.

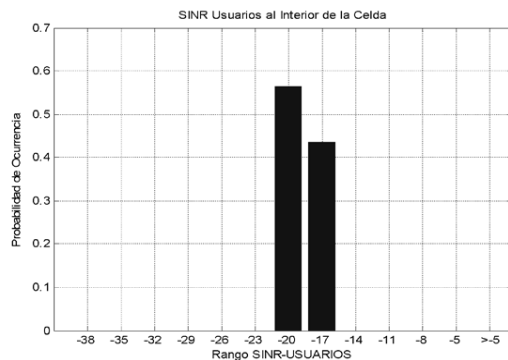


Figura 7. Relación señal interferencia más ruido (SINR) de los usuarios al interior de la celda.

En la Tabla 2 se encuentran los resultados de las medidas estadísticas de las variables analizadas (Potencias de Transmisión, Cobertura del Sistema, Probabilidad de Degradación y SINR) para este caso de simulación.

Tabla 2. Estadísticas de las variables analizadas para el caso 1.

CASO 1					
Variables	Potencia de Transmisión (dBm)	Cobertura del Sistema (sin 5% de PD) (m)	Cobertura del Sistema (con 5% de PD) (m)	Probabilidad de degradación	SINR Usuarios (dB)
Medida					
Media	7,5682	757,580	178,253	0,5647	-21,027
Moda	12	800	300	0,6	-21,716
Mediana	9	780	180	0,6	-20
Varianza	101,644	1464,21	7267,2	0,0088	19,377
Desviación Estándar	10,082	38,265	85,247	0,0941	4,402

**B. Caso 2**

En este escenario se implementan tanto el Control Ideal de Potencia (IPC) como la movilidad de los usuarios.

De la Figura 8, la potencia de transmisión más común en la simulación es 18 dBm. Además, la probabilidad de que la potencia de transmisión de los usuarios conectados a la Estación Base (BS) sea menor o igual a 12 dBm, es de 0.535, disminuyendo este valor en 0.079 con respecto al valor obtenido en el caso 1, lo que permite inferir que al implementar la movilidad en los usuarios, éstos deben transmitir con niveles de potencias más elevados para cumplir con sus requerimientos de SINR.

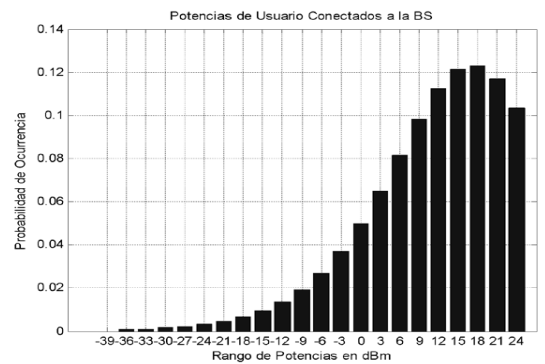


Figura 8. Potencias de transmisión de usuarios conectados a la BS.

La Figura 9 muestra que la probabilidad de que los valores de cobertura se encuentren por encima de 700 metros es de 0.964, obteniendo un aumento en este caso de 0.06 en relación a lo obtenido en el caso 1, en el cual no se implementa la movilidad de los usuarios. Este resultado muestra que la movilidad incrementa la probabilidad de obtener valores de cobertura mayores, sin embargo aplicar movilidad supone un incremento en la probabilidad de degradación del sistema, como se puede notar en la Figura 11.

La Figura 10 muestra, que al considerar el 5% de probabilidad de degradación obtener valores de cobertura superiores a 280 metros tiene una probabilidad de 0.33, es decir, que el 67% de la probabilidad está concentrada en valores inferiores a 280 metros. En cuanto a los resultados consignados en la Tabla 3, se observa que los valores de desviación estándar de cobertura obtenidos en este caso, son mayores a los obtenidos en el caso 1 (ver Tabla 3), notándose, que la movilidad en los usuarios ocasiona mayor variabilidad en los valores de cobertura por ende, aumento en los valores de desviación estándar.

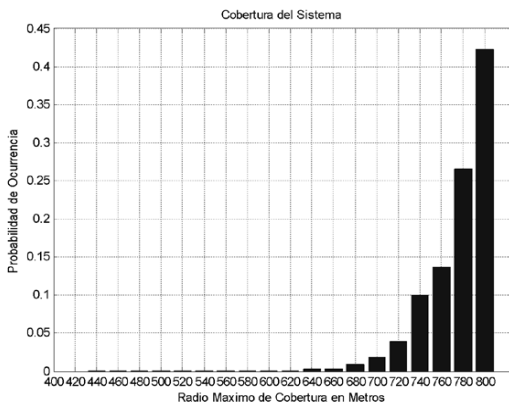


Figura 9. Cobertura del sistema en el enlace de subida.

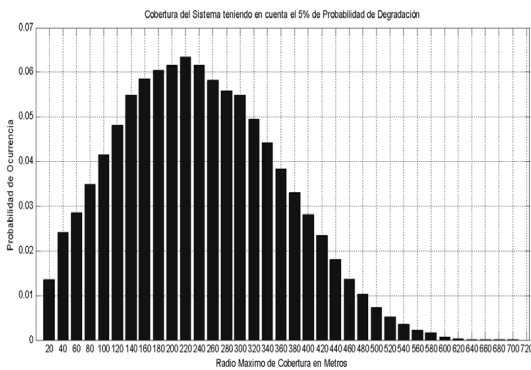


Figura 10. Cobertura del sistema en el enlace de subida sin superar el 5% de probabilidad de degradación.

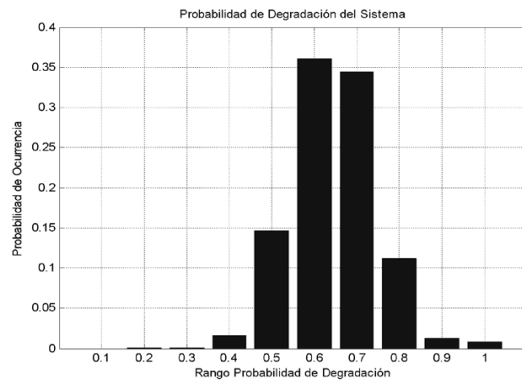


Figura 11. Probabilidad de degradación del sistema.

En relación a los valores de probabilidad de degradación del sistema, de la Figura 11 se puede visualizar que la probabilidad de que el valor de probabilidad de degradación del sistema se encuentre por debajo de 0.6 es de 0.52. Al implementar movilidad los valores de probabilidad de degradación se incrementan, ya que en el caso 1 para el valor de 0.6 se obtuvo una probabilidad de 0.57, lo que implica que hay un 5% menos de probabilidad de que los valores de probabilidad de degradación sean superiores a 0.6.

La Figura 12 muestra los valores de Relación Señal a Interferencia más Ruido (SINR) de los usuarios al interior de la celda. De esta Figura se observa, que un 40% de los usuarios lograron cumplir con la SINR objetivo, disminuyendo en 3.6% en relación al valor obtenido en el caso 1, notándose que la movilidad de los usuarios degrada la calidad de las comunicaciones.

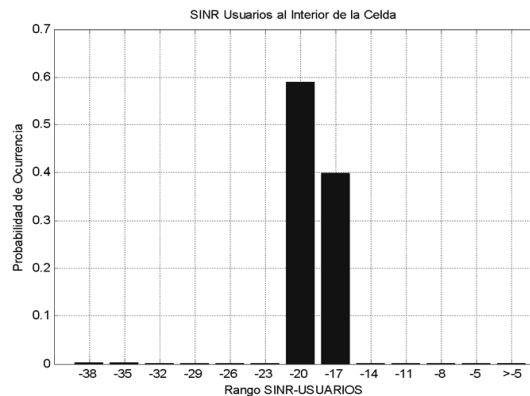


Figura 12. Relación señal interferencia más ruido (SINR) de los usuarios al interior de la celda.

En la Tabla 3 se detallan los valores obtenidos en las medidas estadísticas para cada una de las



variables analizadas (Potencias de Transmisión, Cobertura del Sistema, Probabilidad de Degradación y SINR).

C. Caso 3

En este escenario de simulación se implementa únicamente la movilidad de los usuarios, sin tener en cuenta el Control Ideal de Potencia (IPC), por ello todos los usuarios transmiten con el valor máximo de potencia (24 dBm).

La Figura 13 muestra el resultado de máxima cobertura en la celda de análisis. Se observa que la probabilidad de que la cobertura sea superior a 700 metros es de 0.807, 9.3% menor al valor obtenido en el caso de simulación 1 (escenario con IPC). Por otro parte, la Figura 14 muestra que al considerar el 5% de probabilidad de degradación, existe un 10.42% de probabilidad de que la cobertura del sistema se encuentre por encima de 280 metros. De acuerdo a estos resultados, no implementar un procedimiento de Control de Potencia (PC), trae como consecuencia una disminución en la cobertura del sistema, debido al aumento de los niveles de interferencia en el mismo.

Tabla 3. Estadísticas de las variables analizadas para el caso 2.

CASO 2					
Variables	Potencia de Transmisión (dBm)	Cobertura del Sistema (sin 5% de PD) (m)	Cobertura del Sistema (con 5% de PD) (m)	Probabilidad de degradación	SINR Usuarios (dB)
Medida	8,967	773,602	230,4851	0,6018	-23,2331
Moda	18	800	220	0,6	-21,5845
Mediana	12	800	240	0,6	-20,01
Varianza	130,891	2479,601	13701,82	0,0092	24,881
Desviación Estándar	11,44	49,795	117,0548	0,0958	4,9881

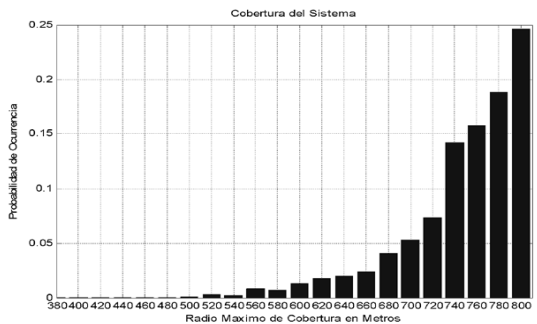


Figura 13. Cobertura del sistema en el enlace de subida.

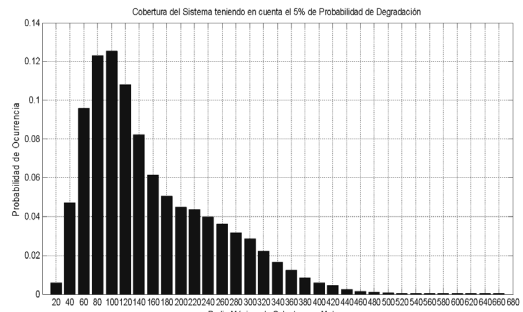


Figura 14. Cobertura del sistema en el enlace de subida sin superar el 5% de probabilidad de degradación.

De la Figura 15 se puede visualizar que al no aplicar Control Ideal de Potencia (IPC) los resultados de la probabilidad de degradación del sistema aumentan considerablemente, pasando de tener valores en moda de 0.6 cuando se aplica IPC a 0.8 en este caso. Del mismo modo, la probabilidad de que la probabilidad de degradación sea menor a 0.6 es de 0.32, disminuyendo en 0.2 con respecto al valor obtenido en el caso 2. Cuando no se aplica IPC, los usuarios transmiten con su nivel de potencia máximo, haciendo que se presenten fenómenos como el cerca-lejos, el cual causa un incremento en la interferencia presente en el sistema y por consiguiente una degradación en la calidad de las comunicaciones, la cual se ve reflejada en valores de probabilidad de degradación más elevados.

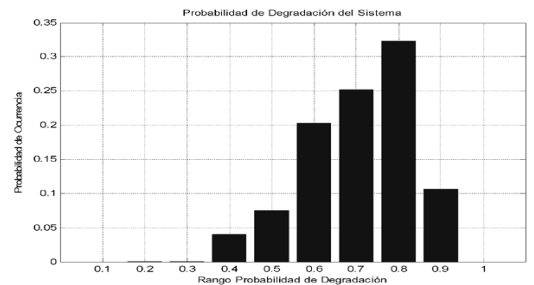


Figura 15. Probabilidad de degradación del sistema.

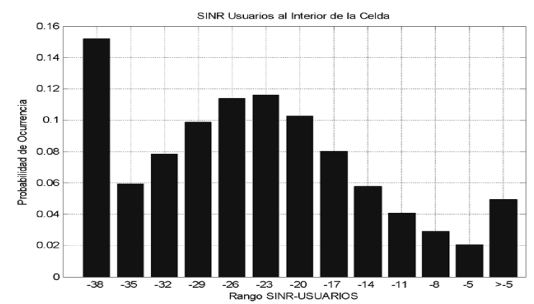


Figura 16. Relación señal interferencia más ruido (sinr) de los usuarios al interior de la celda.

La Figura 16 muestra los valores de Relación Señal a Interferencia más Ruido (SINR) de los usuarios al interior de la celda, la probabilidad de que la SINR sea superior a -20 dB es de 0.277, es decir que un 27.7% de los usuarios satisfacen su requerimiento de SINR. Se observa que al no implementar IPC, el porcentaje de los usuarios que cumplen con la SINR objetivo disminuye, pasando de tener un 40% de los usuarios conectados en el caso 2.1 a un 27.7%.

De los resultados obtenidos en las Figuras 13 a 16 se evidencia la importancia que tiene el procedimiento de Control de Potencia como mecanismo de control de interferencia, ya que al implementar este procedimiento los niveles de interferencia presentes en el sistema disminuyen, causando que el desempeño del sistema mejore en términos de capacidad y cobertura.

En la Tabla 4 se presentan los valores obtenidos de las diferentes medidas estadísticas para cada una de las variables analizadas (Potencias de Transmisión, Cobertura del Sistema, Probabilidad de Degradación y SINR).

Tabla 4. Estadísticas de las variables analizadas para el caso de simulación 3.

CASO 3					
Variables	Potencia de Transmisión (dBm)	Cobertura del Sistema (sin 5% de PD) (m)	Cobertura del Sistema (con 5% de PD) (m)	Probabilidad de degradación	SINR Usuarios (dB)
Medida					
Media	24	735,871	208,271	0,7226	-26,045
Moda	24	800	100	0,8	-67,557
Mediana	24	760	220	0,7	-26,746
Varianza	0	4227,62	7453,801	0,0066	173,353
Desviación Estándar	0	65,0202	86,3354	0,0815	13,166

### CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que aplicar Control Ideal de Potencia (IPC) e implementar la movilidad de los usuarios permite obtener distancias de cobertura mayores en comparación a las obtenidas en los escenarios donde no fueron implementados el Control Ideal de Potencia (IPC) y la movilidad. Además, se encontró que el Control Ideal de Potencia (IPC) permite mitigar la interferencia del sistema, obteniendo potencias

de transmisión de usuario más bajas y valores de probabilidad de degradación menores a los conseguidos en el caso donde no se aplicó este procedimiento, lo cual evidencia el impacto que tiene el Control de Potencia (PC) en la capacidad y la cobertura de los sistemas móviles e inalámbricos cuando estos son limitados por interferencia.

La inclusión de la movilidad en los usuarios permite obtener valores de potencia más aproximados a la realidad, evidenciando la necesidad de crear sistemas de comunicaciones dinámicos, que se ajusten de forma adecuada al comportamiento variable del sistema.

En comparación con otros trabajos, los tiempos de simulación son cortos, y el modelo presentado sirve como referencia para trabajos de investigación que requieran movilidad sin la elevada complejidad de algoritmos de simulación.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la Universidad del Cauca por su respaldo y en especial al Grupo de I+D GNTT por su colaboración y acompañamiento.

### REFERENCIAS

- [1] K. Piamrat. "Radio resource management in emerging heterogeneous wireless networks". Computer Communications, pp. 26-30. 2010.
- [2] N. Vucevic. "Reinforcement learning for joint radio resource management in LTE-UMTS escenarios", Computer Networks, Vol. 55, N° 7, pp. 1487-1497. 2011.
- [3] J. Pérez Romero, O. Sallent, R. Agustí and M. A. Díaz Guerra. "Radio Resource Management Strategies in UMTS", John Wiley & Sons. 2005.
- [4] J. M. D. Moyano. "Ruidos e Interferencias: Técnicas de reducción", Santander: Universidad de Cantabria. 2005.
- [5] H. Holma and A. Toskala. "WCDMA for UMTS: HSPA evolution and LTE", Cuarta ed.: John Wiley & Sons. 2007.
- [6] A. F. Quemba and C. H. Obando. "Análisis de Capacidad de un Sistema WCDMA (release 99) en el Enlace de Subida mediante Control de Potencia y Detección Multiusuario (MUD)", Popayán: Universidad del Cauca. 2012.

- [7] R. Agustí, F. Bernardo, F. Casadevall, R. Ferrús, and O. Sallent. "LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles", Fundación Vodafone España. 2010.
- [8] V. Veeravalli and A. Sendonaris. "The Coverage–Capacity Tradeoff in Cellular CDMA Systems", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 48 N° 5, pp. 1443-1450. 1999.
- [9] M. Cistelecan; C. Popescu; "Using Sliding Mode Control Theory for Radio Resource Management in Wireless Systems", *Proceedings of the 2006 International Workshop on Variable Structure Systems* Alghero, Italy, June 5-7, 2006.
- [10] A. Calvagna, "A. La Corte and S. Sicari. Mobility and quality of service across heterogeneous wireless Networks" *Computer Networks* 47, Elsevier, pp. 203-217. 2005.
- [11] Y. Zhang, "User mobility from the view of cellular data networks", *IEEE Conference on Computer Communications, INFOCOM 2014*. Toronto, Canada. 2014.
- [12] A. Gonga, "Mobility and multi-channel communications in low-power wireless networks". *Doctoral Thesis, KTH Royal Institute of Technology*, Stockholm, Sweden. 2015.
- [13] P. Prasad and P. Agrawal. "Movement prediction in wireless networks using mobility traces", *IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, Las Vegas, NV, USA. 2010.
- [14] S. Göndör, A. Uzum, T. Rohrmann, J. Tan and R. Henniges. "Predicting User Mobility in Mobile Radio Networks to Proactively Anticipate Traffic Hotspots", *International conference on MOBILE wireless middleware, operating systems and applications*, Bologna, Italy. 2013.
- [15] H. Li and D. Hu. "Mobility Prediction based Seamless RAN-Cache Handover in HetNet", *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Doha, Qatar. 2016.
- [16] L. Ghouti, T. Sheltami and K. Alutaibi", *Mobility Prediction in Mobile Ad Hoc Networks Using Extreme Learning Machines*", *The 4th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies*, pp. 305-312. 2013.
- [17] P. Swiatek, P. Rygielshi, K. Juszczyszyn and A. Grzech. "User Assignment and Movement Prediction in Wireless Networks". *An International Journal Cybernetics and Systems*, pp. 340-353. 2012.
- [18] ETSI. "TR 101 112: Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS", *European Telecommunications Standards Institute (ETSI)*, 1997.
- [19] L. Mendo. "Capacidad en Sistemas Celulares W-CDMA", Madrid: *Universidad Politécnica de Madrid*. 2001.
- [20] V. Quintero. "Evaluación del Desempeño de Sistemas de Comunicación Móvil Celular de Tercera Generación – WCDMA". Popayán: *Universidad del Cauca*. 2010.
- [21] V. F. Miramá Peréz. "Control de Potencia basado en Teoría de Juegos en Comunicaciones Inalámbricas", Popayán: *Universidad del Cauca*. 2012.
- [22] M. d. P. Muñoz and J. A. Valdés. "Análisis de Interferencia en Femtoceldas para WCDMA". Popayán: *Universidad del Cauca*. 2010.